

機関番号：16301  
 研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20310112  
 研究課題名（和文）：南海地震による孤立域の支援・復興に向けた輸送路の健全性評価と文化財保全  
 研究課題名（英文）：Transport Route Hazard Assessment for Post-Nankai Earthquake Reconstruction Support to Potential Areas of Isolation and Conservation of Cultural Heritage  
 研究代表者  
 矢田部 龍一（YATABE RYUICHI）  
 愛媛大学・大学院理工学研究科・教授  
 研究者番号：70127918

## 研究成果の概要（和文）：

南海地震の発生がクローズアップされている。南海地震では津波被害に関心が集まっているが、地盤災害も極めて重要な問題である。高知平野や徳島平野の沿岸域での液状化災害、山間地での斜面崩壊は人的被害を招くだけでなく、道路ネットワークを寸断する。今、南海地震が起これば、国道32号線の復旧は一ヶ月以上、国道56号線とJR予讃線は復旧の見通しが立たず、国道33号線は数週間というように、高知県は陸の孤島と化す。また山間地では多くの集落が孤立することが予想されている。また、四国に点在する文化財も被害を受けることが予想される。

本研究では甚大な被害が発生し、孤立化が予想される高知平野の詳細な地震動解析を行うとともに四国の主要道路の健全性検討を行い、ハザードマップを作成した。また四国に点在する文化財、特に八十八ヶ寺の地盤の動的特性を明らかにした。

## 研究成果の概要（英文）：

Shikoku fears heavy damage during the Nankai Earthquake, which is due to hit this region in next 30-50 years. Although tsunami is particularly feared of, the potentials of geo-disasters are equally important. Not only liquefaction of coastal areas in Kochi and Tokushima plains and landslides in mountainous areas, but discontinued road network is also expected to affect people's life in the disaster-hit areas. If the Nankai Earthquake takes place right at present, the reconstruction of Route 32 is supposed take more than one month, that of Route 33 is estimated at a few weeks, and that for Route 56 and JR Yosan Line is yet to be estimated. This will cause isolation of Kochi Prefecture from terrestrial-route perspectives. At the same time, human settlements over the remote mountains will also be isolated, and the scattered cultural heritage sites of Shikoku will also be damaged. All this in background, hazard assessment of the road network in Shikoku during the Nankai Earthquake has been made and hazard maps have been prepared in this study. The ground dynamics of the cultural heritages sites, particularly, the Shikoku 88-Pilgrimage Temples, has also been investigated and elucidated with the help of microtremor survey.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2010年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	15,400,000	4,620,000	20,020,000

研究分野：地盤工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード： 南海地震・地盤情報・文化財保全・動的性質・地盤動解析

### 1. 研究開始当初の背景

地震防災では、関東直下型地震に次いで重要なのが、東南海・南海地震であろう。南海地震は、四国地域に甚大な被害をもたらし、支社は1万人とも予想されている。四国山脈が東西に走り、急峻な地形と脆弱な地質からなっている四国では、救援ならびに復旧ともに困難を極めると考えられる。南海地震では津波被害に関心が集まっているが、海岸域の液状化被害や山間地の斜面災害も想像を絶するものと思われる。しかし、地盤災害に関しては、殆ど系統的な研究がなされていない。それは、津波史ミレーションと違って地盤災害解析のためには膨大な地盤データを必要とするからである。

### 2. 研究の目的

東南海・南海地震による地震動に関して最新で詳細なシミュレーションを実施する。そのために、四国地域の地盤特性を最大限評価しながら、最新の研究成果に基づいた深層地盤図と表層の電子地盤図を作成し、高知平野の地震動解析を行う。また四国の主要道路の地震時の地すべり危険度ハザードマップを作成する。それとともに、四国に点在する文化財保全のために四国八十八ヶ寺の立地地盤の地震時の安定性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

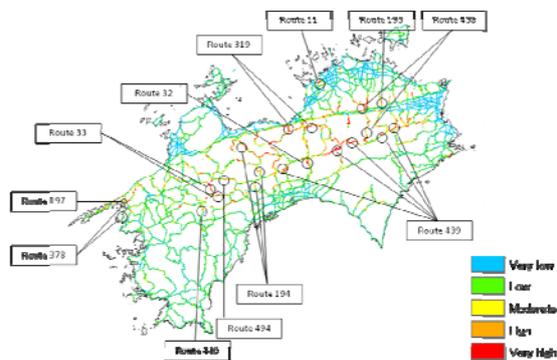
深層地盤はこれまでの研究成果を集大成して作成する。また電子地盤図は2万本ものボーリングデータ、微動アレイ探査や微地形解析に基づいて作成する。地震動予測はハイブリッド法（3次元差分法&統計的グリーン関数法）と表層地盤応答（等価線形法）を用いて250m~500m程度のメッシュ点の地震波を算出することにより行う。最期に得られた成果を元に東南海・南海地震にタイするハザードマップを作成する。また、微動観測により四国八十八ヶ寺の地盤の微動特性を明らかにするとともに、四国の主導道路沿いの地すべりハザードをGISデータベースにより構築した。

### 4. 研究成果

誌面の制約もあるので、東南海・南海地震時の主要道路の地すべりハザードマップの作成と地震動による高知平野の地震動シミュレーション結果を中心に述べる。

(1) 主要道路の地すべりハザードマップの作成

防災科学技術研究所により発表されている四国地域内地すべり地形と中央防災会議により公開されている南海地震時四国内最大加速度分布図を中心にGIS解析に基づき道路に対する地すべりの危険度評価を行った。また、危険度評価に基づき道路防災ハザードマップを作成し、その信頼性を現在国土交通省により指定されている道路点検箇所との位置情報と比較した。その結果殆どの点検箇所は危険度の高い地域内に位置していることがわかった。また、評価方法の妥当性に関して、2004年に発生した中越地震による小路屋地域の地すべり斜面崩壊と比較し他結果、80%近い確立で評価されていることがわかった。以下その解析結果を示す。



### (2) 孤立域・高知平野の地震動予測

#### ・表層地盤モデルの作成

地震動予測に必要な地盤モデルは、工学的基盤（今回は $V_s \approx 600\text{m/s}$ ）以浅の沖積層等の表層地盤モデルと、それより深部の内、地震基盤（ $V_s=3000\text{m/s}$ 相当層）までの深層地盤モデル（堆積層と基盤よりなる）と地震基盤以深の地殻構造モデルである。

表層地盤モデルは、3000本のボーリング資料を基に作成した地盤情報データベースを用いて、そのボーリング1本毎に沖積層を想定し、各250mメッシュに地層構成モデルを作成した。メッシュ内および周辺のボーリングデータより、地震動評価に対して脆弱性の高い条件を選択し、深度方向に1m刻みに地層を細分して優勢な土質（粘性土、砂質土、礫質土）を選択し、平均N値を割り振った。

さらに、 $V_s$ 推定式（望月・JRの式）を用いて、S波速度の物性モデルに変換した。なお、動的変形特性についても、ボーリング調査の土質試験データよりモデル化した。

また、山地部については表層付近の岩盤風

化層等の影響を考慮したモデル化を行った。トンネル工事の弾性波探査データをもとに地質帯ごとに地盤モデルを付加した。

#### ・深部地盤モデルの作成

深層地盤モデルは堆積層と基盤部分に分けて作成し、重ね合わせた。堆積層部は、微動アレイ探査と単点常時微動観測の結果を用いて工学的基盤 ( $V_s \approx 600\text{m/s}$ ) から岩盤までの堆積層の形状と速度構造をモデル化した。基盤部は、微動アレイ探査結果等の基盤情報と表層地質を参考に、基盤部分の地質とS波速度を設定した。基盤露出部分の風化層相当は既存の弾性波探査情報より設定した。これに地質学的な知見から解釈を加えて、表層部分の各境界を3次的に拡張した。地殻構造モデルは、Iwata et al, (2008) による3次元地殻構造モデルを用いた。

また、深部地盤モデルの妥当性を検証するために、過去の中小地震の再現計算を行い、良好な結果を得た。微動アレイ観測で得られた地盤構造モデルの検証については、2007年4月26日09時02分に愛媛県東部で発生したMj5.3の地震を検討した。深部地盤構造モデルの検証については、2009年7月22日に室戸岬沖において発生したMj4.6の地震を検討した。

#### ・地震動の予測

3次元地盤構造モデルを用いて、東南海・南海地震の既往シナリオによる高知平野全域における地震動を予測評価した。予測方法はハイブリッド法(3次元差分法&統計的グリーン関数法)と表層地盤応答(等価線形法)を用いて250m~500m程度のメッシュ点の地震波を算出し、地域の震動特性を評価した。得られた結果はハザードマップ作成の基礎データとした。

その結果、最大加速度は山間部で400cm/s<sup>2</sup>未満、平野部において1000cm/s<sup>2</sup>程度、計測震度は震度5強~震度6強と予測された。最大速度は対象エリア南西部で顕著に大きく、100cm/s程度となった。これは、高知県沖に位置するアスペリティの破壊に伴って発生した大振幅の指向性のパルスの影響が現われた結果である。なお、予測された時刻歴波形から、地震動の継続時間は150秒程度を越えることがわかり、巨大地震の特徴が良く表現されている。

また、SI値やASV値の分布は、1946年昭和南海地震の被害分布と比較的対応が良い。同地震の再現計算ではないが地盤条件の建物被害への影響の大きさが示唆される。

#### ・液状化の予測

液状化の予測は、四国地盤情報データベー

スのボーリングデータ等を用いて簡易判定法により評価した。まず、地域地盤の液状化に対する脆弱性を評価して、液状化危険度分布図を作成した。次に、予測地震動による液状化発生の面的評価を行った。評価は250mメッシュで行い、得られた結果はハザードマップ作成の基礎データとした。

その結果、鏡川三角州の東域の国分川沿いと下流域に広がる砂州の地域、浦戸湾の東の沿岸地域、仁淀川下流の沿岸域の緩い砂層が厚く堆積する地域において、液状化の危険性が高く評価された。また、その他には、鏡川沿い西域の扇状地、仁淀川に沿うチャンネル堆積物にも液状化の可能性が示唆された。

#### ・道路構造物の概略耐震性評価とハザードマップ作成

直轄構造物の耐震性の概略検討を既往の簡易耐震評価手法を用いて実施するための支援システムを作成した。これを用い、既往の施設情報や耐震化状況などのデータを収集し(現地確認も実施)、緊急輸送路(直轄国道)を対象に、想定される地震動および液状化による橋梁、盛土区間、自然斜面等の相対的危険度と被害程度を概略評価した。

その結果、今回の東南海・南海地震の地震ハザード評価に対して、道路橋梁は60橋中の耐震化対策が未実施のものに「耐荷力の低下に著しい影響のある被害(落橋等の致命的な被害)」等の危険性が抽出された。また、道路盛土の危険度はさほど高くないが、斜面崩壊には危険性が示唆された。

東南海・南海地震の想定地震動等と道路構造物の概略耐震評価結果をハザードマップにとりまとめた。各情報はGIS上で自由に重ね合わせ、任意のスケールでマップ表示できるように電子化した。また、今後の検討の基礎とするために四国全域の道路網等の情報や地震防災に関わる既存の検討データ等も集録した。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計30件)

①Paudyal Y. R., Yatabe R., Bhandary N. P., Subedi, J., Shrestha, R., Rapid Visual Seismic Vulnerability Assessment Tool and its Application for Local Level Disaster Risk Management, *Proc. Joint Conference: 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE) & 5th International Conference on Earthquake Engineering (5ICEE)*、無、なし、2010、1479-1486

②矢田部龍一、東南海・南海地震による高知平野の地震動シミュレーション、土木電力、

- 無、352、2011、9-14
- ③S. Yasuda, R. Verdugo, K. Konagai, T. Sugano, F. Villaobos, M. Okamura, T. Tobita, A. Torres and I. Towhata, Geotechnical damage caused by the 2010 Chile Maule, Chile earthquake, I SSMGE Bulletin、有、4-2、2010、15-26
- ④安田進・小長井一男・菅野高弘・岡村未対・飛田哲男、2010年チリ Maule 地震による被害に対する災害緊急調査団報告、地盤港学会誌、有、58-8、2010、42-43
- ⑤安田進・小長井一男・菅野高弘・岡村未対・飛田哲男、2010年チリ Maule 地震による地盤関連の被害、第13回日本地震工学シンポジウム論文集、有、1、2010、1095-1102
- ⑥岡村未対、豊田浩史、清田隆、Misko Cubrinovski、2010年ニュージーランド Darfield 地震被害に対する災害緊急調査団報告、地盤港学会誌、無、58-12、2010、199-201
- ⑦森伸一郎、田村一樹、高密度地盤調査による埋立地盤の構造推定と一次元地震応答のばらつき、構造工学論文集、有、57A、2011、掲載予定
- ⑧森伸一郎、古川将也、伊豆半島東方沖群発地震を利用したため池堤体の動的応答特性の評価、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) [特]地震工学論文集、有、67-1、2010、242-251
- ⑨Araki H, Hasegawa S, Micro-indentation tests to evaluate micro-scale mechanical properties of granites, Proc. Of the 44<sup>th</sup> US rock Mechanics Symposium、有、なし、2010、CD-ROM、10pp
- ⑩Hachimura T., Yamanaka M., Ohno H., Hasegawa S, New investigation method to estimate waste properties of existent landfills, International offshore and polar engineers、有、なし、2010、658-662
- ⑪Hayashi H., Hasegawa S, Nonomura A., Sato T., Selection safe places for temporary shelter from debris flow and landslide disasters in mountainous area, Proc. of society for Social Management System(SSMS2010)、有、なし、2010、CD-ROM、10 pp
- ⑫Hachimura T., Yamanaka M., Hasegawa S, Ohno H., Engineering methods and economic effects on Proc. of society for Social Management System (SSMS2010), reproduction technology of final disposal、有、58-8、2010、CD-ROM、7pp.
- ⑬林宏年、長谷川修一、野々村敦子、山中稔、佐藤知紀、中山間地における土砂災害に対して安全な一時避難場所の選定方法、自然災害科学、有、29-1、2010、73-81
- ⑭羽藤英二、齊藤いつみ、実行動データに基づいた day-to-day の動的経路選択機構の分析、第30回交通工学研究発表会論文報告集、有、なし、2010、229-232
- ⑮Hato, E.、Development of behavioral context addressable loggers in the shell for travel-activity analysis, Transportation Research C、有、18(1)、2010、55-67
- [学会発表] (計 56 件)
- ① バンダリ ネットラ P.、矢田部龍一、2011. GIS を中心とした四国地域の地すべり分布特性とハザード評価について、第4回四国 GIS シンポジウム (主催: GIS 学会四国支部・徳島大学地域創生センター)、2011年2月22日~23日、徳島。
- ② バンダリ ネットラ P.、矢田部龍一、村上雄亮、2010. GIS 解析に基づく地震時地すべり崩壊による道路ハザード評価法に関する検討、(社)地盤工学会四国支部平成22年度技術研究発表会講演概要集、2010年10月2日、徳島、pp.51~52.
- ③ 村上雄亮、矢田部龍一、バンダリ ネットラ P.、2010. GIS を用いた四国内主要道路における地震時斜面・地すべり崩壊危険度解析と道路健全性評価に関する研究、第45回地盤工学研究発表会講演概要集、2010年8月松山、pp.1773~1774.
- ④ 穴蔵正俊、矢田部龍一[愛媛大学]、バンダリ ネットラ・P.、2010. GIS 解析に基づく2004年新居浜地域の土砂災害分布およびハザード評価、平成22年度土木学会四国支部第16回技術研究発表会・講演概要集、2010年5月15日、徳島、pp.207-208.
- ⑤ Acharya K. P., Bhandary N. P., Yatabe R., 2010. GIS-based analysis of landslide distribution pattern in most vulnerable geological formation in central Nepal, *Proc. 16th Japan Shikoku Chapter Conference on Civil Engineering*, Tokushima, Japan, pp.195-196.
- ⑥ Acharya K. P., Bhandary N. P., Yatabe R., 2010. GIS-based localized analysis of landslide distribution pattern in most vulnerable geological formation in central Nepal, *Proc. 45th Japan National Conference on Geotechnical Engineering*, Matsuyama, Japan, pp.1777-1778.
- ⑦ Acharya K. P., Bhandary N. P., Yatabe

R., 2010. Geologically delineated GIS analysis of non-uniform distribution pattern of landslides in mid Nepal Himalaya, *Proc. Japan Shikoku Chapter Conference on Geotechnical Engineering*, Tokushima, Japan, pp.47-48.

- ⑧ Bhat, D. R., Bhandary, N. P., and Yatabe, R., 2010. An experimental study to understand creep behavior of clayey soils in residual state of shear, *Proc. Annual Conference of Japanese Geotechnical Society (JGS) Shikoku Branch*, Tokushima, Japan, 2 October, 2010, pp.99-100.
- ⑨ Dhakal, S., Bhandary, N.P., Yatabe, R., and Pradhan, P.L., (2010). Gravity turn-on deformation analysis of zoned rockfill dam of Bagmati Multipurpose Project, Nepal. *Proc. Annual Conference of Japan Society of Civil Engineers (JSCE) Shikoku Branch, Tokushima, Japan*, May 15, 2010, pp.197-198.

[図書] (計1件)

Yatabe, R., Bhandary, N. P., and Subedi, J. K. (eds), 2010. *Disasters and Development: Investing in Sustainable Development of Nepal*, 280p., ISBN: 9-789937-506540, Vajra Publications, September 2010, Kathmandu Nepal

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

矢田部 龍一 (YATABE RYUICHI)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：70127918

### (2) 研究分担者

岡村 未対 (OKAMURA MITSU)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：50251624

森 伸一郎 (MORI SHINICHIRO)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：10304643

長谷川 修一 (HASEGAWA SUICHI)  
香川大学・工学部・教授  
研究者番号：00325317

ネトラ バンダリー (NETRA BHANDARY)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号：10363251

羽藤 英二 (HATO EIJI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号：60304648